

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-219173

(43)Date of publication of application : 19.08.1997

(51)Int.Cl.

H01J 37/317  
H01J 37/05  
H01L 21/265  
// H01J 49/28

(21)Application number : 08-047944

(71)Applicant : NISSIN ELECTRIC CO LTD

(22)Date of filing : 09.02.1996

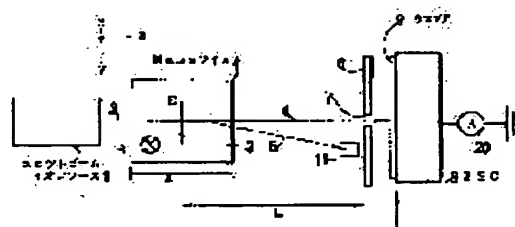
(72)Inventor : AOKI MASAHIKO

## (54) ION INJECTION DEVICE

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To make uniform high-current ion injection possible, by making an oblong ion beam advance straight and deflect by a wien filter, to radiate a specimen and a detector, and the scanning speed for the specimen is controlled according to an observation result of the uniformity and irradiation quantity by the detector to restrain a temperature rise.

**SOLUTION:** By a wien filter 3, a slitlike (belt-like) ion beam 2, drawn by an ion source 1, is mass-separated into ion beam 4 and 5, advanced straight and deflected to be outputted. The beam 4 passes through the slender hole 7 of a slit 6 to be radiated to a specimen 9 on a placing mount 8, and current quantity is measured by a Faraday cup 11 for receiving the beam 5. By this measured result, the current and the uniformity in a lateral direction of the beam 4, entered into the specimen 9, is observed, and a scanning speed in the Y-direction of the mount 8 is controlled by a scanning mechanism, in accordance with this observation result. This can remove unnecessary ion injection of the specimen 9, to restrain a temperature rise, thereby performing high-current ion injection uniform in a lateral direction.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

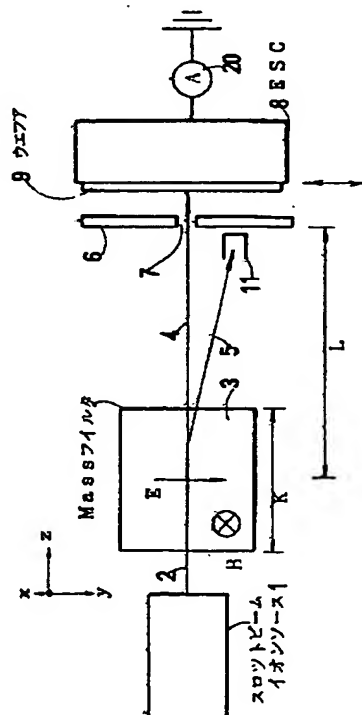
[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

BEST AVAILABLE COPY

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(11)特許出願公開番号



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 複数の帯状のイオン引き出し口から引き出されるイオンビームに対してウィーンフィルタにより注入すべきイオンを直進させ他のイオンは質量分離し、分離したイオンを複数個等間隔で並んだファラディカップにより測定し、イオンビームの均一性と照射量を監視し、エンドステーションによって試料を保持し、イオンビーム断面の短辺方向のみにビームに対して試料を走査し、イオン電流の値によって走査速度を制御するようにしたことを特徴とするイオン注入装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、半導体ウェファのような大型の加工品に対する高電流イオン注入を余分なイオンによる発熱を抑制することによりデバイスを損傷することなく高能率で行うことのできるイオン注入装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 イオン注入装置は半導体、絶縁体などにイオンビームを高速で打ち込むものである。半導体の場合は、p型或いはn型の不純物を対象物に注入し伝導型を変更する為に用いられる。イオンビームの加速電圧によって注入の深さを制御できる。従来のイオン注入装置には2種類のものがある。一つは細いビームを質量分離し、左右上下に実効的に走査することによって、広い面積をもつ対象面にイオン注入をするものである。もう一つは大口径のイオン源から広いイオンビームを引き出し、質量分離をせずそのまま被照射物に当てるものである。

【0003】 前者の走査法について述べる。走査といってもビーム自体を振っても良いし、被処理物を左右に振っても良い。何れであっても良い。半導体ウェファが対象の場合は、回転可能なディスクを円周上に複数個有する回転円盤を用いる。半導体ウェファをディスクに取り付ける。ディスクを回転させながら円盤を左右上下に移動させ、順次細いイオンビームを回転するウェファ全面に均一になるように照射することもある。これを回転ターゲット方式と呼ぶことにする。ウェファは回転と並進の両方の走査を受ける。

【0004】 ビーム走査方式は、ビームが細いのでイオン源から出た直後に扇形磁石からなる質量分離装置によって質量分離する。これによって不要なイオンを除去し、必要なイオンのみをウェファに照射することができる。イオン源では必要なイオンを含む化合物のガスを原料として、これをプラズマにしイオンビームとして引き出すから、イオンビーム中に不要なイオン、対象にとって有害なイオンも含まれる。そこで、質量分離をして必要なイオンだけを選んで対象たる被照射物に当てるのである。扇形の磁極を対向させ、磁芯に捲いたコイルに電流を流し、磁極間に強い磁場を発生させる。磁力線を直

角に切るようにイオンビームが走行するので、ファラディ力によってイオンの経路が曲げられる。曲げの加速度は速度に比例し質量に反比例する。エネルギーが同一のイオンであっても、質量、速度が違うので曲げの角度が異なる。これによって質量分離する。

【0005】 質量分離をするので、不要なイオンや有害な影響を持つイオンなどが被処理物に入るのを防ぐことができる。これは対象物に及ぼす面からの利点である。もう一つの利益は発熱を有効に防ぐことができるということである。不要イオン、例えば水素を含むイオンなどが被処理物に照射されると、運動エネルギーが全部熱に変わるので多大の熱が発生する。不要イオンの入射がないので、熱の発生が少ないという利益がある。

【0006】 大口径のイオン源から引き出したイオンビームをそのまま被照射物に照射する方式のものはスループットが高いという利益がある。イオンビームの大きさがウェファの大きさより僅かに広いようにすると、1枚のウェファのイオン注入においてウェファを動かす（走査）必要がない。回転ターゲットに複数のウェファを取り付けた場合、1枚1枚のウェファの処理において回転ターゲットを静止しておき、1枚のウェファの処理が終わるとターゲットを1枚分回転して次のウェファの処理をすればよい。

## 【0007】

【発明が解決しようとする課題】 ビーム走査を行う方式では、ビーム光学系は比較的単純である。しかし反面エンドステーションが複雑になる。例えばウェファを戴置したディスクは、高速回転と、並進速度制御を行わなくてはならない。並進速度制御は、イオンビーム電流に比例し、ディスクの中心とビーム中心位置の距離に反比例するような運動であってそれ自体かなり複雑である。このように複雑なエンドステーションの機構は装置の価額を押し上げる。またイオン注入の操作自体を難しくする。また処理速度を上げるために高電流密度のビームを使うことが多いが、電流密度を上げるとチャージアップ現象が顕著に現れる。チャージアップによって素子破壊が起こる可能性がある。このために電流密度を上げるにも限界がある。

【0008】 大口径イオン源を使いビームを走査しないものは、ビーム光学系がイオン引き出し系のみであるから、前述のものよりさらに単純である。しかし大口径非走査の装置は反対に次のような難点がある。

①イオンの質量分離を行わないので電極からの不純物が被処理物に注入される。

②分子が注入される為、注入深さがプラズマの状態によって変化する。ためにデバイスの特性がばらつく。

③イオン源から出る不要なイオンも被処理物に注入されるために、被処理物の温度上昇が著しい。温度上昇を抑えるため、電流密度の上限が抑えられる。ためにスループットをそれ以上上げることができない。

【0009】③の問題について更に説明する。例えばSiにボロン(B)の注入を行う場合、原料ガスとしてジボラン( $B_2H_6$ )を用いる。イオン源からボロンイオンと共に水素イオン $H^+$ 、 $H_2^+$ なども引き出される。質量分離をしないので水素イオンもSiウェファに入射する。運動エネルギーがここで全て熱になる。運動エネルギーは、加速エネルギーqVにほぼ等しいので、水素イオンでもボロンイオンでもイオン1個当たりのエネルギーはほぼ同じである。ボロンを含むイオンは有効なイオンであるが、ボロンを含まない水素イオンは無効なイオンである。無効であるだけでなくウェファを加熱し温度を上げる。

【0010】ウェファにはレジスト膜等が既に作製されているから、加熱すると特性が劣化する。例えば400K以上にしてはならない、などという制限が課される。大口径イオン源非質量分離方式の場合、イオン全体の約半分が無効な水素イオンである。水素イオン分の入射によってウェファの温度が余計に上がってしまう。もしもイオンビームから水素イオンを除けば、発熱を半分にすることができる。もっとも、水素イオンは拡散係数が高いので、アニール処理によってウェファから抜けでて行く。だからウェファにあまり悪影響を及ぼさないが、照射時に基板温度をいわずに押し上げるという欠点がある。

【0011】それでは大口径ビームの場合も質量分離をすれば良いように思える。それはそうなのであるが、断面積の大きいビームの場合、従来のように扇形断面の磁石によって質量分離をしようとすると、よほど大きい磁極をもち強力な磁界を発生する巨大な磁石が必要になる。これは不可能とは言わないまでも経済的に得策でない。それで大口径ビームの場合、質量分離装置を設けないのである。質量分離を行わず大口径のウェファにイオン注入する方法として、PIII法(Plasma Immersion Ion Implantation)が提案されている。

Plasma Source Sci. Technol. 1 (1992) pl-6.

【0012】これは負電圧にバイアスしたウェファをプラズマ中にさらし、シース領域でイオンを加速し、イオンをウェファ中に注入するとしている。イオン源の中にウェファを入れ、プラズマをウェファの負バイアスによって加速するもので巧みな方法である。イオンを引き出す必要がないので引き出し電極が不要である。引出電極がないので、そこから不純物が発生するということはない。前記の①の問題を解決できる。

【0013】しかし②、③の問題には尚無力である。ボロンをドーピングする場合、ソースガスとしてジボラン( $B_2H_6$ )が用いられるが、水素イオンのウェファへの混入を避けることができない。ボロンの注入による加熱の他に、水素イオンの注入による加熱もあって基板温度の上昇が著しい。ために電流密度をある程度以上に上げることができない。イオン電流を上げることができないの

でスループットが低い。この論文では1枚のSiウェファに対して、10分かかって $1.9 \times 10^{15} / \text{cm}^2$ のドーピングをしたという記載がある。しかしながら現在の半導体工業ではそのように遅い処理では採用することができない。1枚のウェファに処理が1分程度でなければならない。つまりスループットが低すぎる。そういう訳で前記のPIII法は現在のところ工業的には採用されていない。

【0014】大口径イオンビームでは何ゆえに質量分離ができないのか？扇形の磁極を持つ電磁石によって質量分離をするが、ビーム径が大きいと、磁極を大きくし磁力も大きくしなければならず、工業的には難しい。しかし、そういうものと水素イオンなど不要なイオンビームのウェファへの入射による加熱の問題を最終的に解決するためには、どうしても大口径イオンビームを質量分離する必要がある。

【0015】大口径のイオンビームを質量分離する手段を備えたイオン注入装置を提供することが本発明の第1の目的である。質量分離することにより不要イオンが試料に入射し試料を加熱することのないようにしたイオン注入装置を提供することが本発明の第2の目的である。試料のビームによる加熱を抑える事によって、スループットを上げる事のできるイオン注入装置を提供する事が本発明の第3の目的である。ビームの空間的な一様性、時間的な変動を実時間で測定できる手段を備えたイオン注入装置を提供することが本発明の第4の目的である。ビームの空間的均一性が低下した場合これを監視しイオン注入を停止できる装置を備えたイオン注入装置を提供することが本発明の第5の目的である。

#### 【0016】

【課題を解決するための手段】本発明のイオン注入装置は、短辺と長辺よりなる矩形状断面の帯状イオンビームを引き出すことのできるイオン源と、帯状ビームの断面の長辺方向に磁場を短辺方向に電場を印加でき直交する磁場と電場の組み合わせによって帯状のイオンビームを質量分離する複数のウィーンフィルタと、所定の質量を持つ帯状のイオンビームを通す細長い穴のあるスリットと、スリットのさらに下流側にあつて被照射物を支持する支持台と、ウィーンフィルタによって経路が曲げられた不要イオンの経路上に設けられた複数個のイオン検出装置と、支持台をスリットの穴の短辺の方向に移動させる走査機構とよりなる。

【0017】本発明はまずイオン源において従来の装置とは異なる。本発明のイオン源は細長い断面のビームを発する。本発明のビームは、先述の走査方式のように丸い断面をもつ細いビームでもなく、先述の大口径イオンビームのように広い正方形のビームでもない。細長い断面を持つ帯状のビームである。被照射物の直径をWとする。走査方式のビームは $r=b$ の小さい円形断面のビームを実効的に左右前後に走査する( $b < W$ )。大口径非

走査ビーム方式の場合は、ビームの断面は、 $Q \times R$ であって、 $Q$ 、 $R$ の何れもウェファの口径 $W$ よりも大きい

( $Q > W$ 、 $R > W$ )。本発明のイオンビームは $c \times D$ の断面を持つが、 $c$ はウェファの直径 $W$ より小さい。 $D$ は $W$ より大きい。 $c < W < D$ である。だから帯状のビームとなるのである。走査についても従来例とは異なる。左右上下に二次元的に走査しない。かと言って全く非走査であるでもない。本発明は、短辺 $c$ の方向に走査し、長辺 $D$ の方向には走査しない。一次元的な走査を行う。

#### 【0018】

【発明の実施の形態】イオン源からは例えば横長形状のイオンビームが、引出電圧に比例したエネルギーを持って引き出される。図1は本発明の構成の概略を示す。イオン源1には、イオンにするべき原料ガスを導入し、放電によってガスをプラズマにし、引き出し電圧を加えてプラズマ中のイオンをイオンビーム2として外部に引き出す機構が設けられている。引出電極の形状に工夫があって、スリット状(帯状)のビームを引き出すようになっている。ビーム断面の長い方の辺の方向を $X$ 軸に、短い方の辺の方向を $Y$ 軸に取る。ビームの進行方向を $Z$ 軸とする。ビームは $X$ 方向に $D$ の、 $Y$ 方向に $c$ の長さ幅を持つ。

【0019】ウィーンフィルタ3が帯状のイオンビームを質量の違いによって分離する。試料(被処理物)に照射すべきイオンは直進し、その他のイオンは屈折するようにする。ウィーンフィルタ3の前方には細長い穴7を持つスリット6が設けられる。イオン源の引き出し口、ウィーンフィルタ中心、穴7は一直線上にある。所定の質量をもつイオンは直進して穴7を通過できる。それ以外の質量のイオンはスリット6の板面に当たる。質量の異なるイオンは試料に照射されないので、試料の温度が上がるのを防ぐことができる。これが本発明の最も大きい利点である。

【0020】穴7を通過したイオンは、載置台8の上に固定した試料(ウェファ)9に照射される。ビームのウェファ面への投影は $c \times D$ の細長い矩形状である。 $D > W$ とすると、 $X$ 方向のビームの広がり十分である。そこで $Y$ 方向に載置台を走査する。そのための走査機構があるがここでは図示しない。 $Y$ 方向の走査によってウェファの全面にビームを注入できる。イオンビーム電流は電流計20によって測定される。

【0021】スリット6の穴7の下方にファラディカップ11が設置される。これは質量の異なるイオンビームを受けてその電流量を測定する。同じ原料ガスであれば、所望のイオンの量は不要イオンの量に比例する。ファラディカップに入るイオンビーム電流によって、試料に入るイオンビーム電流を評価できる。

【0022】さらにビームの広がり方向( $X$ 方向)に等間隔に複数のファラディカップを設けることによって、不要イオンビームの $X$ 方向の分布を時事刻々知るこ

とができる。同じガスであれば必要イオンビームと不要イオンビームの量は比例するので、これによってイオンビームの均一性を監視できる。空間的なビームの均一性を監視し不均一であればイオン源やウィーンフィルタを調整する。調整がうまくゆかない時はイオン注入を中止する。

#### 【0023】

【実施例】図1に示すように、イオン源から横長形状( $c \times D$ )のイオンビームが引き出し電圧に相当するエネルギーをもって引き出される。これがウィーンフィルタ3によって質量によって異なる経路を取るよう分離される。ビームの短辺に平行に電界 $E_y$ が、長辺に平行に磁界 $B_x$ が印加される。直交する電界と磁界の作用によって、所望のエネルギー、質量のイオンのみを直進させる。ファラディ力 $F$ は $F = q(E + v \times B)$ によって表される。

【0024】ウィーンフィルタの内部で磁場、電場が一樣であるという仮定をすると、ファラディ力の $x$ 成分は0で、 $y$ 成分は $F_y = q(E_y - wB_x)$ となる。 $w = E_y/B_x$ のイオンのみが、 $F_y = 0$ となりウィーンフィルタを直進できる。 $w$ は $z$ 方向の速度であるが、加速エネルギーが同一であるから、質量の同じものは同じ力を受ける。必要なイオン、例えばボロンのみが所定の速度 $E_y/B_x$ を持つように調整しておくと、ボロンのみがウィーンフィルタを直進できる。

【0025】電界がビームの短辺に平行になっているから、静電遮蔽が起こらない。そのかわり磁界のかかる方向がビーム断面の長辺に平行であるから、強い磁石が必要になる。磁極間距離が広くて、端面磁界が強いものが用いられる。磁界の方向にビームが太いのであるが、磁場は電界程には荷電粒子によって遮蔽されず、磁場の力はビームの内部までに及ぶ。だから幅の広い方向に磁界を、幅の狭い方向に電界を加えるようにする。

【0026】例えば、ボロンイオンを注入する場合を例として説明する。ビームのエネルギーを50 keVと想定する。例えば磁場強度 $B$ を1 kGとしよう(0.1テスラ)。ボロンを直進させるための電界は93326.6 V/mとなる。例えば電極のギャップを10 cmとすると、電極間に印加すべき電圧は約9.3 kVである。イオンビームの断面の長い方に沿って磁場を形成するために、ポールピースの間隔はビームの長辺よりも長くてはならない。たとえば30 cmの広さを取る。それに応じて磁石も大きくなる。

【0027】このような電場磁場の組み合わせによってボロンを直進させる。ボロン(分子量11)を注入する時にはジボランを原料ガスに用いるが、イオン源から出るイオンの中で最も多い物は水素分子イオンである。しかし水素イオンはボロンドープという目的から見ると不要なイオンである。質量分離をしないで、水素分子イオンが50 keVのエネルギーをもって試料に衝突する

と、それと同じだけの熱を発生する。不要イオンの為に試料が著しく加熱されてしまう。本発明の場合はウィーンフィルタによる質量分離をするので、水素分子は試料に注入されない。

【0028】図2に水素分子イオンがウィーンフィルタの内部でどのように偏向するかを計算した結果を示す。横軸はウィーンフィルタの入り口からの距離 $z$  (m)である。フィルタの軸方向の長さ $k$ を20 cmとすると、フィルタの出口での水素分子イオン (分子量2) の偏奇は25 mmである。ここで水素分子イオンは流れの方向が $Z$ 軸から傾いているから、スリットにおいてはさらに大きく偏奇する。ウィーンフィルタの中心からスリットまでの距離を $l$ とすると、偏奇量 $\Delta$ は $\Delta = 0.025l$  (m)となる。

【0029】生産用イオン注入装置にはなによりも、高いスループットが要求される。現在のところ、8インチウェファの場合、ドーズ量が $5 \times 10^{15} / \text{cm}^2$ のときにおいて、毎時100枚の処理能力が要求される。つまり1枚当たりの処理時間が36秒である。搬送の時間も含んでいるから、イオン注入に使える時間は1枚当たり30秒以下である。

【0030】このような高いスループットを実現するために、必要な枚数のウェファを円形の載置台に固定し、載置台の全体をビームの短辺の方向に平行移動する。つまり $y$ 方向に平行移動する。この際、イオンビームの電流量の変化に応じて並進速度を変化させる必要がある。イオンビーム電流は常にモニタしているので電流値をフィードバックして並進速度を制御できる。

【0031】ウェファの載置台は、ウェファを固定しウェファを冷却する。ウェファには高電圧に加速されたイオンビームが照射されその運動エネルギーが全て熱に変わるものであるから基板が著しく加熱される。それを放置すると、ウェファの上に形成された半導体デバイスが破壊されたり劣化したりする。加熱を避けるために、ウェファの冷却は必須である。冷却方式としては、静電吸着力を利用した冷却装置、ガス冷却装置などがある。いずれの冷却装置を用いても良い。何れにしても冷却能力には限界がある。冷却能力の限界が、スループットを規定する。しかし本発明は不要なイオンが試料に注入されないなのでその分の熱の注入が少ない。例を挙げて述べる。

【0032】質量分離後のイオン電流 $I$ が20 mA、ビームサイズ $R$ が20 cm $\times$ 5 cm ( $c = 50$  mm、 $D = 200$  mm)であるとする。これは注入面積 $S$  (ウェファの面積)が20 cm $\times$ 25 cmであるとする。ドーズ量 $\Phi$ は先述のように $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ とする。ビームの1辺の長さ $a$ と、ウェファの一辺の長さ $b$ が等しいので、必要な注入時間 $T_{\text{imp}}$ は単純に、 $T_{\text{imp}} = q \Phi S / I$ によって表される。

【0033】上のパラメータに対して1枚あたりの注入時間は $T_{\text{imp}} = 20$ 秒となる。ウェハ注入からウェファ

注入迄に要するロスタイムを10秒と仮定する。これは十分に実現可能な値である。すると1枚のウェファを処理するために30秒かかり、スループットは毎時120枚となる。十分に満足できるスループットである。イオンビーム電流が所定の値だけ得られない場合、或いはウェファ温度上昇を避けるためにイオンビーム電流をあまり高くできないときは、ウェファを一度に2枚処理してスループットを高くすることもできる。この場合はビームの長手方向の寸法を約2倍にする必要がある。

【0034】所望の質量を持つイオンはスリット6の通し穴7を通過する。しかしそれ以外の質量を持つイオンは質量分離器によって偏向される。例えば水素イオンは強く偏向される。質量分離器によって偏向されたイオンビームは、ウェファ手前に設置されたスリット板6に衝突する。スリット板6の手前にファラディカップ11を設置することにより、イオンビームをモニタすることができる。図1ではファラディカップは一つしか現れないが、実際には $X$ 方向に複数のファラディカップが並んで設置されている。図3にこの様子が現れる。

【0035】この例では4つのファラディカップ11 a、11 b、11 c、11 dが等間隔で同じ $Y$ 、 $Z$ 座標をもつ直線上に並んでいる。もちろんファラディカップの数はもっと多くしてもよい。通し穴7を通過できなかったイオンビームの全てがファラディカップに入るのではない。しかし通し穴を通るイオンビーム量 $A$ 、通し穴を通らずファラディカップに入るイオンビーム量 $B$ 、通し穴を通らずファラディカップにも入らないイオンビーム量 $C$ は比例するし、その成分比も同じであるはずである。知りたいのは $A$ であるが、これを $B$ によって検出することができる。4つのファラディカップに流れる電流をそれぞれの電流計20 a、20 b、20 c、20 dによって求める。これを $A/D$ 変換器21によってデジタル信号に変換する。

【0036】これをディスプレイ22に表示する。画面にはそれぞれのファラディカップに入るイオンビームに比例した高さの棒グラフを例示している。これはウィーンフィルタを通過した細長いイオンビームの長手方向

( $X$ 方向)に沿ったビーム密度に比例する。つまりこれは通し穴7を通過するイオンビームの $X$ 方向の密度分布を示す事になる。これによってイオンビームの空間的な均一性、不均一性を即時に知る事ができる。不要なビームの量を観測するのであるから必要なイオンの照射量が減るわけではない。オンラインでイオンビームの空間的ばらつきをモニタできるので、制御性、即時性において極めて優れている。

【0037】ファラディカップはスリット板に平行な方向に移動可能となっている。偏向され検出されるイオンビームの種類、イオン源の加速エネルギーによってファラディカップの通し穴からの距離を適当に変更する必要がある。不要イオン (通し穴を通らない) の内最も多い



のは水素イオンであるから、水素イオンを検出するのが最も便利であろう。その場合でもイオン源の加速エネルギーが違うので、ファラディカップの位置を調整しなければならない。

【0038】空間的分布を監視しており、もしもビームの均一性が悪くなったときは警報を出してイオン注入を中断することができる。ビームシャッターをビームの経路に挿入し、これを遮断することによって注入を中止することもできる。しかし本発明の場合は、ウィーンフィルタの条件を変更することによって、それまで注入されていたイオンが通し穴を通過せずスリット板に当たるか、ファラディカップに入るかするようにできる。イオンビームの空間的均一性が悪くなるのはイオン源の調子が悪いからである。イオン源のパラメータを調べ、これを再調整することによって均一性を改善する。その作業が完了すれば再びイオン注入を開始する。

#### 【0039】

【発明の効果】大面積のイオンビームに対してウィーンフィルタを使って質量分離を行う。このために従来の細いイオンビームを扱うイオン注入装置と同じように、不純物を含まないイオン注入が可能になる。高品質のイオン注入処理が可能になる。従来法のように質量分離をしないとイオン源から発生する物質が被処理物を汚染する。それでイオン源の電極材料や壁面材料その他の部材の材料が限定され、しかも表面処理などを行わなければならない。本発明の場合、イオン源の素材の自由度が高まり、表面処理などの特別な加工が不要になる。

【0040】不要なイオンビーム、特に水素イオンビームなどが被処理物に照射されなくなる。ために対象物の温度上昇がより少なくなる。イオンの種類、エネルギーなどにもよるが、例えば注入されるイオン電流が約半分に減少し、被処理物に与えられる熱量も半減する。すると冷却も容易になる。冷却機構もより簡単化される。反対に同じ温度まで上がって良いとすれば、イオンビーム電流を約2倍に上げることができる。

【0041】温度上昇が抑制されるというのが本発明の最も大きい特徴である。この点を例証するために具体的な計算例を示す。本発明のように質量分離をする場合と、質量分離をしない場合の温度上昇を比較する。注入時間が同じになるように、それぞれのビームパラメータを調整し、ウェファの温度上昇の違いを調べた。Siにp型不純物としてのボロンをイオン注入する場合を例とする。水素ガスとジボランガスなどを利用するから、ボロンイオンの他に水素イオンも混ざっている。質量分離をしない場合、ボロンをドーブする際、ボロンイオン以外に水素イオンが混在しており、水素イオンも被処理物に注入される。

【0042】典型的な値としては、ボロンイオン：水素イオン＝1：1である。従ってイオンビームの内約半分が水素イオンである。水素イオンが注入されるのでウェ

ファが余計に加熱され温度が上がる。ところで、イオン注入量（或いはドーズ量）は、実際にはボロンイオンの注入量によって決まる。従って注入時間はボロンイオンビーム量によって計算しなければならない。ここで、質量分離ありの場合と、質量分離なしの場合の違いを評価するために、注入時間が同じになるようにしてビームパラメータを調整し、ウェファ温度上昇を解析した。

【0043】質量分離なしのイオン源から引き出されるビームのエネルギーが50 keVであるとする。ボロンのイオン電流密度jは $30 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ とする。所望のボロン濃度 $\Phi$ が $5 \times 10^{15}/\text{cm}^2$ とする。これはFETのソース、ドレインを作るための普通の濃度である。被処理物の寸法を8インチ角とする。これだけのボロンイオンを一括ドーブする。注入時間 $T_{\text{in}}$ は、

$$【0044】 T_{\text{in}} = q \Phi / j$$

【0045】によって与えられる。qは電荷単位（ $1.6 \times 10^{-19}$  C）である。この計算によると注入時間は27秒である。ところが、実質的なイオン電流密度という表現は、今の場合ボロンイオンのみを表している。ボロンと水素が半々であるとすれば、イオン源から引き出されるイオン電流密度は前記の密度を2倍して、 $60 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ の程度である。8インチ角であるから面積をこれに乗じて、全イオン電流は24 mAであり、ボロンの実質的な電流は12 mAである。

【0046】ウェファに投入されるイオンビームのパワーPは、 $P = V j$ であるから、 $3 \text{ W}/\text{cm}^2$ となる。この時のウェファの温度上昇を測定した。図4にこの結果を示す。横軸は時間、縦軸は温度である。10秒の注入によって温度は約120℃上昇する。20秒程度で温度上昇が飽和し、約150℃上昇する。27秒では、ほぼ450 Kつまり177℃になる。これが質量分離をしないときの試料の温度上昇である。

【0047】本発明のように質量分離をする場合を考える。ウィーンフィルタを使うので、8インチ角（20 cm×20 cm）の大口径ビームをそのまま使うことはできない。より細長い短冊型断面のビームを用いる。1辺を共通とし、20 cm×5 cmの断面のイオンビームを使う事にしよう。オーバースキャンを考慮し、注入面積は20 cm×25 cmとする。この条件において27秒の注入時間を維持するとするとビーム量Iは15 mAである。これは $I = q \Phi S / t$ によって求めた値である。15 mAというのはボロンイオン電流である。本発明では質量分離するのでイオン源から出た全イオン電流は30 mAである。

【0048】ウェファの単位面積当たりに投入されるイオンビームパワーは $1.5 \text{ W}/\text{cm}^2$ である。これは前記の質量分離しない場合の値 $3 \text{ W}/\text{cm}^2$ の半分である。水素イオンが入らないから、それによる $1.5 \text{ W}/\text{cm}^2$ だけ減少している。所定の注入時間（27秒）で、2往復のスキャンによって注入を完了するべきもの



とする。スキャン速度は、 $25 \times 4 / 27 = 3.7 \text{ cm/s}$ となる。

【0049】このような条件でウェファの温度変化を測定すると図5のようになる。ある領域にビームが照射されている時その温度は急上昇する。しかしビームが遠ざかると放熱（熱伝導と輻射）によって温度が下がる。温度は図5のように鋸状の変動をする。これは100秒までの温度変化を測定したものである。この例では27秒で所望の $5 \times 10^{15} / \text{cm}^2$ のドーピングができるから27秒でイオン注入を打ち切れば良い。試料の温度は初め380 Kまで上がり、315 Kまで下がる。さらに390 Kまで上がって320 Kまで下がる。最終的に室温から100℃以下の温度変化しかない。図4の場合は温度

は単調に増大し450 Kにまで到達する。本発明の場合はそれより50℃以上低い事になる。

【0050】その原因は、水素イオンビームを分離しこれが試料に入射しなくなったことである。イオンビームが約半分になるから加熱の度合いも弱くなる。もう一つはビームが帯状に細くて短辺の方向に走査しなければならず、走査のために放熱がされ易いということである。温度上昇が少ないから素子が破壊されない。これは本発明の優れた利点である。この例について数値を表にして示す。

【0051】

【表1】

	質量分離しない場合	質量分離する場合
エネルギー (keV)	50	50
イオン密度 ( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ )	60	300
ビーム形状	20 cm □	20 cm × 5 cm
全電流 (mA)	24	30
実効電流 (mA)	12	15
平均パワー ( $\text{W}/\text{cm}^2$ )	3	1.5
注入時間 (秒)	27	27
温度上昇 (℃)	150	90
走査速度 (cm/秒)		3.7
ドーピング量	$5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$	$5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$

【0052】表1によって、大口径のイオンビームに対して質量分離を行う本発明の優れた点が明らかになる。試料の温度上昇が、質量分離をしないものに比較して少なくなる。この例では水素イオンとボロンイオンの比が1:1であるから試料に与える熱量はほぼ半分になる。これ以外の場合でも、水素イオンなど不要なイオンの試料への注入を防ぐ事ができるので試料の温度上昇を効果的に抑制することができる。

【0053】エンドステーションが、従来のように回転と並進の組合わさった運動を行う複雑な機構でなく、単に並進機構のみで済む。これによってエンドステーションの構造を簡略化できるので、コストダウンが可能となる。その並進運動にしても、イオンビーム量にのみ追従するだけでよいので制御が簡単になる。

【0054】従来の機構は回転ターゲットを用い、ビームを絞って試料に照射していたが、本発明はビームを収束する必要がない。為にウェファにおけるビームの電流密度をより小さくできる。チャージアップ抑制する事が可能である。例えば通常の回転ターゲット方式の場合、約 $0.6 \text{ mA}/\text{cm}^2 \sim 1 \text{ mA}/\text{cm}^2$ の電流密度のビームを照射するが、本発明の場合 $0.15 \text{ mA}/\text{cm}^2$ 程度でよく、半分以下の電流密度で十分である。回転タ

ーゲットの場合にビームを収束させる必要があるのは、ビームサイズが回転ターゲットの注入面積に比較して大きい場合、注入均一性が保証されないからである。

【0055】本発明は基本的にイオンビームを直進させる。ウィーンフィルタを用いて質量分離を行うからである。直進するビームを扱うから、ビーム光学系の補正などを考慮する必要がない。光学系の設計が容易である。ウィーンフィルタ内の磁場強度と電界強度がビーム存在領域において均一であれば良い。電界の均一性を得るために、例えば、電極の端に突起を付けるという事が行われる。突起によって電界強度が補正され均一性が高まる。

【0056】またビームを短辺と長辺よりなる矩形断面のビームとし、長い辺と磁界の方向を平行にしている。このためにフィルタからスリットまでの距離を長く取る必要がない。これも大きな利点である。選択されないビームは電界の方向(Y方向)に曲がるから、電界の方向に薄いと僅かな変位でビームを分離することができる。図6にこれを示す。図6(a)、(b)のように本発明では、ビームは偏平で電界の方向に薄く、磁場の方向には厚い。

【0057】薄い方向にビームが質量分離するから、フ

フィルタからスリット迄の距離を短くできる。もしも反対に、磁場の方向に薄いビームとする(図6(c)、

(d))と、ビームを分離するために、フィルタからスリットまでの距離を長くしなければならない。ウィーンフィルタの磁場と電場の非対称性を巧みに利用したビーム断面の選択である。不要イオンを単に排除するだけではない。これを積極的に利用し、スリット板の前にファラディカップを設け、ビームの空間的均一性をモニタしている。ビームの不安定性を検出し直ちに対処することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明のイオン注入の概略構成図。

【図2】ウィーンフィルタの内部において水素イオンビームが描くビーム軌跡の図。横軸がフィルタ内のビーム進行方向の距離、縦軸は水素イオンビームの中心軸線からの変位量。

【図3】スリット板の前に設けるファラディカップ群の概略図。

【図4】質量分離を行わない場合においてウェファの温度上昇の時間的推移を示すグラフ。横軸はイオン注入の時間、縦軸は温度。

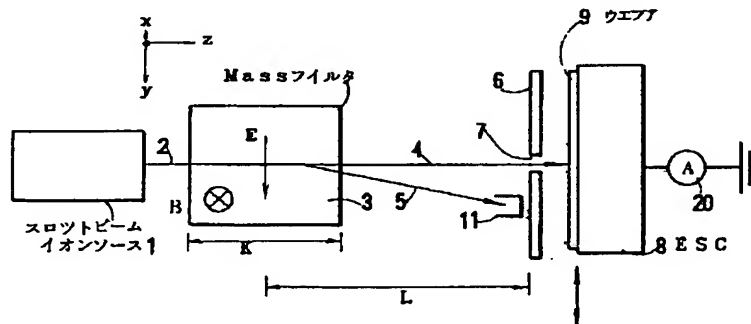
【図5】質量分離を行う本発明においてウェファ温度上昇の時間的推移を示すグラフ。横軸はイオン注入の時間、縦軸は温度。

【図6】ウィーンフィルタ内のビームの方向の違いによって分離に必要なビームラインが異なることを説明するための図。

#### 【符号の説明】

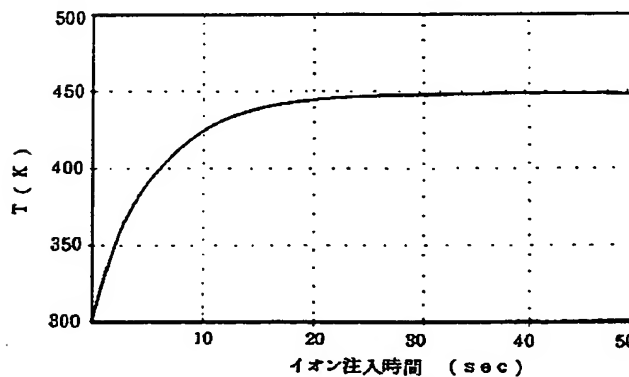
- |    |            |
|----|------------|
| 1  | イオン源       |
| 2  | イオンビーム     |
| 3  | ウィーンフィルタ   |
| 4  | 直進するイオンビーム |
| 5  | 偏奇するイオンビーム |
| 6  | スリット板      |
| 7  | イオンビーム通し穴  |
| 8  | ウェファ載置台    |
| 9  | ウェファ       |
| 11 | ファラディカップ   |
| 20 | 電流計        |
| 21 | A/D変換器     |
| 22 | ディスプレイ     |

【図1】



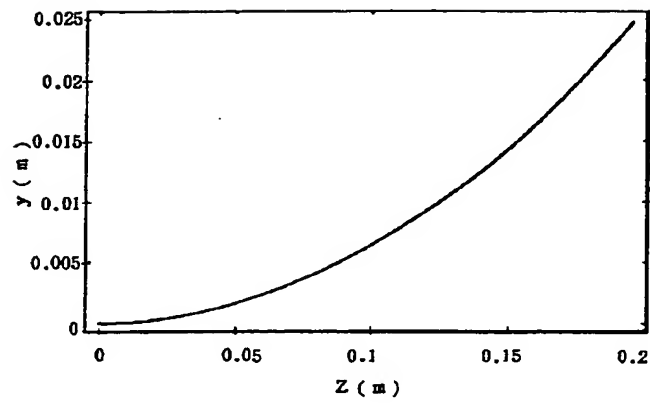
【図4】

NMAシステムのウェファ温度

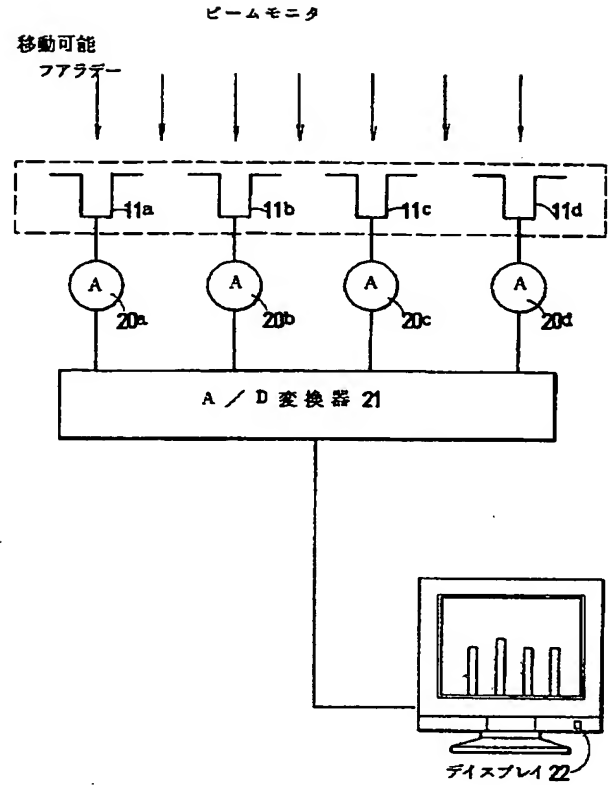


【図2】

ウィーンフィルタ内における  
イオンビーム軌跡

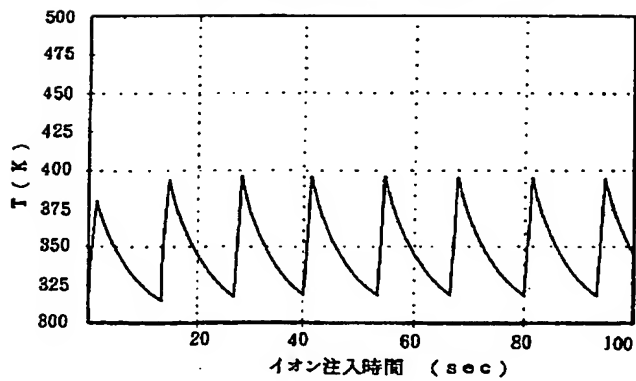


【図3】



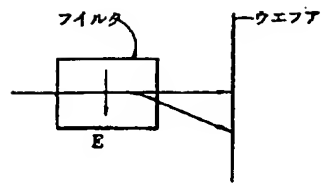
【図5】

Mass フィルタシステムのウェファ温度

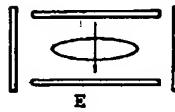


【図6】

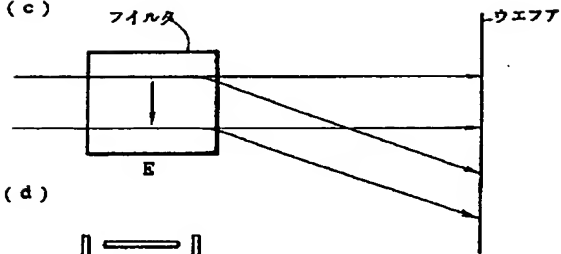
(a)



(b)



(c)



(d)

